p-ISSN: 2301-6663, e-ISSN: 2477-250X
URL: http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo

Analisis Perbandingan Kekuatan Mekanik Komposit Resin Polyester Berpenguat Serat Sabut Kelapa, Serat Ijuk, dan Serat Pohon Pisang sebagai Material Alternatif Pembuatan lambung Perahu

Yuliyanto[1], Riska[*2], Boy Rollastin[3]

[1,2,3] Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat
Jl. Timah Raya, Air Kantung, Sungailiat, Sungai Liat, Kabupaten Bangka, Kepulauan Bangka Belitung 33215
Coressponding author: belzanyuliyanto@yahoo.com

Abstract

The limitations of conventional wood materials as raw materials for boat construction have driven the development of alternative materials based on natural fibers. One alternative material that can be used is composite material. Composite material is a combination of two materials consisting of a binder and reinforcement. This research aims to analyze the effect of variations in fiber types—coconut coir fiber, palm fiber (ijuk), and banana tree fiber—on the flexural strength and impact resistance of composites reinforced with polyester resin. The three types of fibers used were treated with 5% NaOH immersion. Specimen fabrication was carried out using the hand lay-up method, and mechanical testing was conducted according to ASTM D790-02 standards for bending and ASTM E-23 for impact. The composition consisted of 70% resin and 30% fiber. The highest bending test result was 69.63 MPa for coconut coir fiber composite, and the lowest value was 32.6 MPa for palm fiber composite. In impact testing, the highest value was 49.08 kJ/m² for coconut fiber composite, and the lowest value was 13.63 kJ/m² for palm fiber composite. The results indicate that coconut coir fiber composite performs better compared to banana stem fiber and palm fiber. This demonstrates that the balanced hemicellulose content provides flexibility without reducing strength. Based on BKI, coconut coir fiber composite can be used as a material for boat hull construction.
Keywords**:** *: Natural fiber composites, flexural strength, impact resistance, coconut coir, boat hull construction*

Abstrak

Keterbatasan material kayu konvensional sebagai bahan baku konstruksi perahu mendorong pengembangan material alternatif berbasis serat alami. Salah satu material alternatif yang bisa dijadikan material tersebut adalah material komposit. Material komposit adalah gabungan dari dua material yang terdiri dari perekat dan penguat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jenis serat sabut kelapa, serat ijuk dan serat pohon pisang terhadap kekuatan lentur dan ketahanan impak komposit yang diperkuat dengan resin polyester. Tiga jenis serat yang digunakan diberi perlakuan dengan perendaman NaOH 5%. Pembuatan spesimen dilakukan metode hand lay-up dan pengujian mekanik mengacu pada standar ASTM D790-02 untuk bending dan ASTM E-23 untuk impak. Komposisi resin 70% dan serat 30%. Hasil pengujian bending tertinggi 69,63 Mpa pada komposit serat sabut kelapa dan nilai terendah 32,6 Mpa pada komposit serat ijuk. Pada pengujian impak nilai tertinggi 49,08 kj/m^2 pada komposit serat kelapa dan nilai terendah sebesar 13,63 kj/m^2 pada komposit serat ijuk. Hasilnya menunjukkan komposit serat sabut kelapa lebih baik dibandingkan serat batang pisang dan serat ijuk. Ini menunjukan bahwa kandungan hemiselulosa yang seimbang memberikan fleksibilitas tanpa mengurangi kekuatan. Berdasrkan BKI komposit serat sabut kelapa bisa dijadikan bahan untuk pembuatan lambung perahu.
Kata kunci: komposit serat alami, kekuatan lentur, ketahanan impak, konstruksi perahu

1. Pendahuluan

Industri maritim global saat ini dihadapkan pada tantangan besar dalam mengembangkan material konstruksi kapal yang tidak hanya memenuhi standar performa dan keamanan, tetapi juga selaras dengan prinsip keberlanjutan lingkungan [1]. Penggunaan material konvensional berbasis petrokimia, seperti fiberglass dan komposit sintetis, telah menimbulkan dampak ekologis yang signifikan. Proses produksinya menghasilkan emisi karbon yang tinggi, sementara sifatnya yang sulit terurai menjadikan proses daur ulang di akhir masa pakai sangat problematik [2]. Sejalan dengan meningkatnya kesadaran

DOI: http://dx.doi.org/10.24127/trb.v14i2.4626
Received October 14, 2025; Received in revised form December 30, 2025; Accepted December 31, 2025
Available online December 31, 2025

global terhadap isu lingkungan, terjadi pergeseran paradigma menuju pemanfaatan material ramah lingkungan dan terbarukan, terutama pada sektor industri maritim seperti pembuatan kapal-kapal nelayan yang menuntut efisiensi material tanpa mengorbankan ketahanan struktural [3] [4].

Dalam konteks tersebut, komposit berbasis serat alami muncul sebagai alternatif potensial untuk menggantikan material sintetis konvensional. Material ini memiliki keunggulan berupa ketersediaan yang melimpah, sifat biodegradabilitas, serta potensi besar dalam menekan dampak lingkungan yang dihasilkan oleh limbah industri berbasis petrokimia [5] [6]. Sejumlah penelitian telah melaporkan bahwa penggunaan serat alami seperti serat sabut kelapa, serat ijuk, dan serat batang pisang dapat meningkatkan efisiensi struktural dan mekanik material komposit, baik sebagai penguat tunggal maupun dalam konfigurasi hibrida [7] [8]. Kombinasi antara serat alami dan matriks polimer juga terbukti mampu menurunkan biaya produksi sekaligus mempertahankan stabilitas mekanik dalam berbagai aplikasi [9] [10].

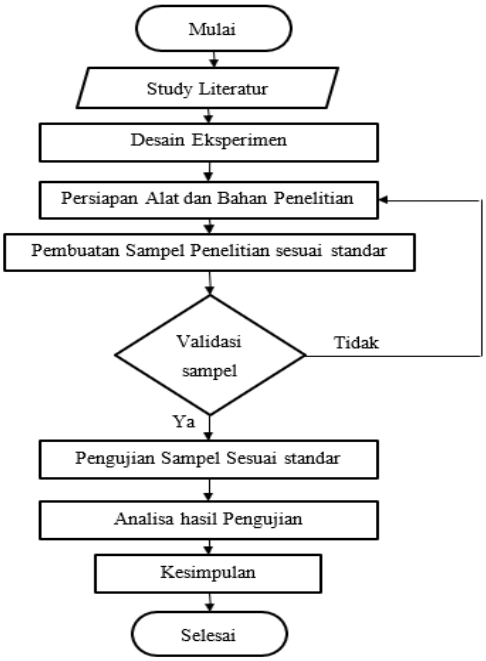
Meskipun demikian, pemanfaatan serat alami sebagai bahan penguat komposit masih menghadapi sejumlah kendala teknis. Beberapa di antaranya mencakup rendahnya kompatibilitas antarmuka dengan matriks polimer, tingginya kemampuan menyerap kelembapan, serta variabilitas sifat mekanik akibat perbedaan kondisi lingkungan dan proses preparasi serat [11] [12]. Karakteristik tersebut dapat menurunkan performa material, terutama pada penggunaan jangka panjang di lingkungan laut yang bersifat korosif [13] [14]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai metode modifikasi permukaan serat telah dikembangkan, termasuk perlakuan kimia menggunakan larutan alkali, silane coupling agents, maupun proses asetilasi [15] [16].

Perlakuan kimia pada serat alami terbukti efektif dalam meningkatkan adhesi antarmuka antara serat dan matriks polimer melalui penghilangan lignin dan hemiselulosa, serta peningkatan kekasaran permukaan serat [17] [18]. Peningkatan ikatan interfacial ini berkontribusi terhadap perbaikan sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kekuatan lentur, serta ketahanan terhadap penetrasi air [19]. Selain itu, perlakuan alkali juga dilaporkan mampu mengurangi degradasi mekanik akibat paparan air laut, sehingga memperpanjang umur pakai material komposit berbasis serat alami [20] [21].

Dalam penerapan di sektor maritim, komposit serat alami memiliki potensi strategis tidak hanya dari sisi teknis, tetapi juga dalam mendukung upaya pengurangan emisi karbon serta penurunan ketergantungan terhadap material plastik berbasis petrokimia [22]. Namun demikian, kajian ilmiah mengenai karakteristik mekanik dan durabilitas komposit serat alami di lingkungan maritim masih relatif terbatas, terutama yang menyoroti pengaruh variasi jenis serat dan perlakuan kimia terhadap kinerja mekanik material [23] [24]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi tiga jenis serat alami yaitu serat sabut kelapa, serat ijuk, dan serat batang pisang diperkuata dengan resin polyester terhadap sifat mekanik yaitu kekuatan bending dan impak, dengan tujuan utama mengevaluasi potensi penerapannya sebagai material alternatif untuk pembuatan lambung perahu [25].

2. Metode Penelitian

Metodelogi penelitian ini menjelaskan secara sistematis tahapan penelitian yang dirancang untuk mengavaluasi pengaruh variasi jenis serat alami terhadap sifat mekanik dan ketahanan komposit yang diaplikasikan pada struktur lambung perahu. Proses penelitian ini divisualisasikan dalam diagram alir yang menggambarkan urutan kegiatan mulai dari persiapan bahan baku hingga kesimpulan akhir. Berikut proses yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tiga jenis serat alami, yaitu serat sabut kelapa, serat ijuk, dan serat batang pisang, yang berfungsi sebagai material penguat (*reinforcement*). Resin polyester tak jenuh digunakan sebagai matriks, sementara katalis berperan sebagai pengeras untuk mempercepat proses polimerisasi. Selain itu, larutan natrium hidroksida (NaOH) digunakan sebagai agen alkalisasi guna menghilangkan kotoran, lignin, dan hemiselulosa dari permukaan serat sehingga meningkatkan kekasaran dan adhesi antarmuka antar serat dan matriks. Berikut gambar bahan-bahan yang digunakan pada gambar 2 berikut.

Gambar 2. Variasi jenis serat, NaOH, Resin Polyester, Katalis

2.2 Proses Pengolahan Serat

Tahapan awal penelitian dimulai dengan pengambilan dan perlakuan serat alami.

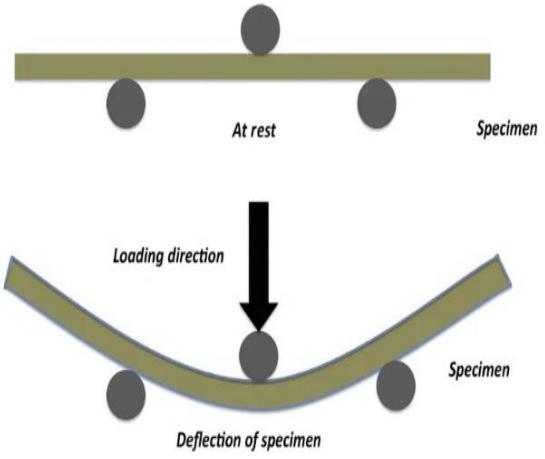
- Serat batang pisang dan serat batang kelapa diperoleh dengan memisahkan lapisan batang dengan cara perendaman beberapa hari, kemudian seratnya dipisah dari kotoran atau ampas yang menempel pada serat dengan bantuan sikat baja. Sedangkan serat ijuk langsung diambil dari pohonnya tanpa proses perendaman. Kemudian semua serat dikeringkan dibawah sinar matahari selama 2-3 hari untuk mengurangi kadar air.
- Kemudian ke tiga serat direndam kembali dengan larutan NaOH untuk menghilangkan lapisan liqnin atau kotoran selama 2 jam untuk proses delignifikasi ringan.
- Kemudian dicuci dengan air bersih dan dikeringkan.

2.3 Proses Pembuatan Komposit

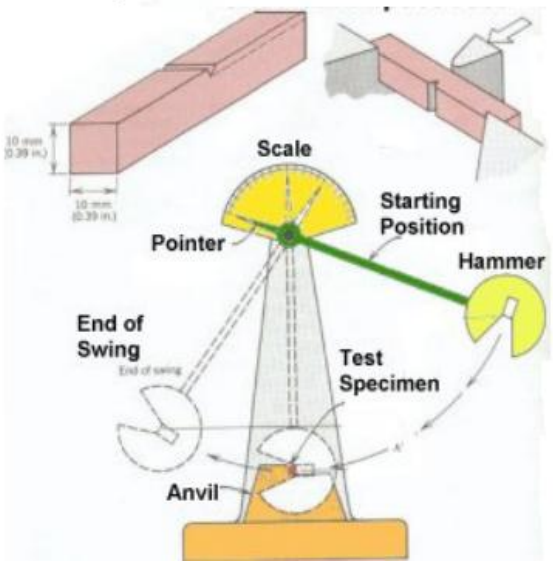
Proses fabrikasi komposit dilakukan menggunakan metode hand lay-up dalam aplikasi skala laboratorium dan kesesuian dengan bahan berbasis serat alami. pembuatan komposit sesuai dengan standar ASTM D790 yaitu panjang 125 mm lebar 12,7 mm dan tebal 3,2 mm untuk uji bending. Sedangkan untuk ASTM-E23 dengan panjang 55mm lebar 10mm dan tebal 10 mm dengan tekikan (V-Notch) 2 mm untuk pengujian impak. Campuran resin polyester 70% ditambah katalis 5% dan serat 30%. setelah pencampuran semua material lalu dilakukan proses pengeringan di suhu ruangan. Gambar 3 dan gambar 4 adalah skema pengujian bending dan pengujian impak menurut standar.

Pengujian kekuatan lentur (bending test) dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) tipe Zwick Roell. pengujian ini untuk menentukan kemampuan komposit dalam menahan beban lentur hingga titik kegagalan. Selama proses pengujian, spesimen diberi beban secara bertahap hingga mengalami retak awal dan akhirnya patah total. Nilai kekuatan lentur maksimum (maximum

flexural strength) diperoleh secara otomatis melalui situasi akuisisi data pada perangkat uji, yanag merekam gaya defleksi saat spesimen mengalami kegagalan struktural.



Gambar 3. Skema Pengujian Bending



Gambar 4. Skema pengujian Impak

Pengujian ketangguhan impak dilakukan menggunakan alat uji impak GOTECH tipe GT-7045 Impact Tester untuk mengevaluasi kemampuan material dalam menyerap energi akibat beban kejut. Nilai kekuatan impak diperoleh melalui analisis sudut ayunan akhir pendulum (cos θ) yang kemudian digunakan dalam perhitungan energi serap material berdasarkan persamaan standar pengujian.

Setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk masing pengujian.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Bending

Data hasil pengujian bending dianalisa untuk memproleh nilai rata-rata dari setiap variasi jenis serat**.** Hasil ini menjadi dasar dalam menganalisis pengaruh variasi serat terhadap perilaku mekanik komposit, khususnya dalam menahan beban lentur. Berikut hasil pengujian lentur komposit pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Bending (Mpa)

No	Jenis Serat	Hasil Pengujian Bending (Mpa)			
		1	2	3	Rata-rata
1	Serat Sabut Kelapa	69,3	68,4	69,2	68,97
2	Serat Batang Pisang	43,5	41,1	45,3	43,30
3	Serat Ijuk	30,7	31,8	33,1	31,87

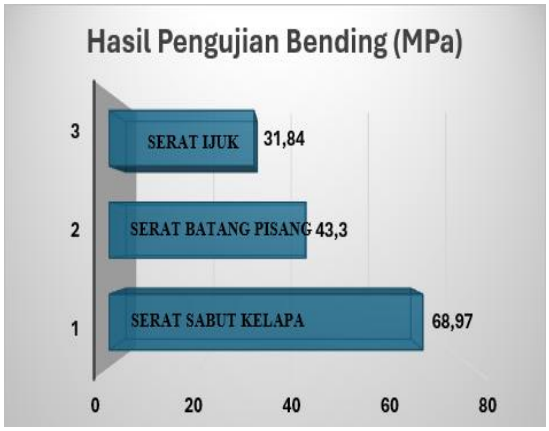
Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, ditemukan adanya perbedaan signifikan pada nilai kekuatan lentur (flexural strength) di antara ketiga jenis serat alami yang digunakan sebagai penguat komposit. Komposit yang diperkuat dengan serat sabut kelapa menunjukkan performa mekanik paling unggul, dengan nilai kekuatan lentur sekitar 59% lebih tinggi dibandingkan komposit berbasis serat batang pisang dan 116% lebih tinggi dibandingkan komposit yang diperkuat serat ijuk. Sementara itu, komposit dengan penguat serat batang pisang masih menunjukkan sifat lentur yang lebih baik, yakni sekitar 36% lebih besar dibandingkan komposit serat ijuk.

Ketiga variasi komposit memperlihatkan tingkat konsistensi hasil yang baik, ditunjukkan oleh variasi data antar spesimen (replikasi 1, 2, dan 3) yang relatif kecil. Kondisi tersebut menandakan bahwa proses fabrikasi berlangsung stabil, dengan distribusi serat yang merata di dalam matriks, sehingga menghasilkan karakteristik mekanik yang relatif seragam. Secara keseluruhan, serat sabut kelapa dapat dikategorikan sebagai material penguat

yang paling potensial untuk diaplikasikan pada struktur ringan dengan kebutuhan ketahanan lentur tinggi, seperti komponen lambung atau body perahu.

Menurut teori rule of mixtures, kekuatan komposit sangat bergantung pada efisiensi transfer beban dari matriks ke serat penguat [4]. Serat sabut kelapa memiliki diameter yang lebih besar (100-450 μm) dan permukaan yang lebih kasar dibandingkan serat ijuk dan batang pisang, sehingga menghasilkan mechanical interlocking yang lebih baik dengan matriks resin polyester [5]. Kondisi ini memungkinkan transfer tegangan yang lebih efektif dari matriks ke serat saat material menerima beban lent

Keunggulan ini berkaitan dengan struktur mikro serat yang lebih padat dan kandungan lignin yang lebih tinggi, yang berkontribusi terhadap peningkatan modulus elastisitas serta kemampuan material dalam menahan deformasi selama pembebanan lentur. Berikut gambar 5 grafik nilai rata-rata hasil pengujian bending.



Gambar 5. Grafik Pengujian Bending

Tabel 2. ANOVA Pengujian Bending

Sumber Variasi (sourse)	SS	df	MS	F-VALUE
Antar Kelompok (Between Groups)	2165,91	2	1082,95	530,26
Dalam Kelompok (Within Groups)	12,25	6	2,04	-
Total	2178,16	8	-	-

Tabel 2 adalah analisis ANOVA (Analysis of Variance) dari data kekuatan uji bending untuk ketiga jenis serat alam: serat sabut kelapa, batang pisang, dan ijuk, dengan perlakuan perendaman NaOH selama 2 jam pada fraksi volume 5%.

Ada perbedaan sangat signifikan antara ketiga jenis serat ($p < 0,001$), F hitung 48 kali lebih besar dari F tabel (530,28 ÷ 10,92 = 48,5). Maka p-value mendekati nol atau $p < 0,001$. Jenis serat menentukan 99,44% dari kekuatan bending komposit. Semua perbandingan antar serat menunjukkan perbedaan yang signifikan dimana perbandingan serat yang paling kuat (serat kelapa) dan serat yang terkecil (serat Ijuk) (68,97 Mpa: 31,87 MPa = 2,16 Mpa). Artinya pemilihan jenis serat sangat menentukan kekuatan komposit. Serat sabut kelapa terbukti secara statistik adalah pilihan terbaik dengan kekuatan 2,16 kali lebih kuat dari serat ijuk. Ketiga serat dapat digunakan sesuai kebutuhan aplikasi dengan tingkat kepercayaan yang sangat tinggi.

3.2 Hasil Pengujian Impak

Tabel 3. Hasil Pengujian Impak

No	Jenis Serat	Hasil Pengujian Impak (kj/m^2)			
		1	2	3	Rata-rata
1	Serat Sabut Kelapa	49,37	45,62	49,37	48,12
2	Serat Batang Pisang	13,76	10,38	13,76	12,63
3	Serat Ijuk	25,84	25,84	25,84	25,84

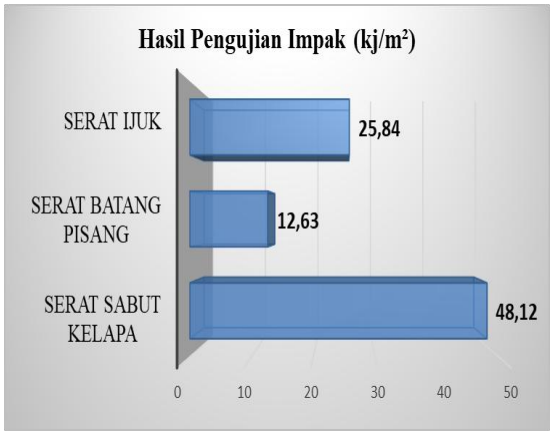
Hasil pengujian impak yang dirata-ratakan selanjutnya diolah dan dianalisis secara sistematis sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui kemampuan material komposit berbasis serat alami dalam menyerap energi serta menahan beban benturan secara tiba-tiba. Berikut hasil pengujian impak dari ketiga jenis serat pada Tabel 3.

Dari ketiga jenis serat alami yang diuji, serat sabut kelapa memberikan kekuatan impak tertinggi sebesar 48,12 kJ/m², menunjukkan bahwa serat ini paling

efektif dalam menyerap energi benturan. Perlakuan kimia atau proses perendaman memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap sifat mekanik serat alam terhadap pengujian impak.

Berdasarkan hasil pengujian impak, serat sabut kelapa menunjukkan kekuatan tertinggi dengan nilai 48,12 kJ/m². Jika serat sabut kelapa dijadikan sebagai standar referensi 100%, maka serat ijuk hanya mampu mencapai 53,70% dari kekuatan sabut kelapa, yang berarti serat sabut kelapa lebih kuat 86,20% dibandingkan serat ijuk. Sementara itu, serat batang pisang memiliki kekuatan yang jauh lebih rendah, yaitu hanya mencapai 26,24% dari kekuatan sabut kelapa, atau dengan kata lain sabut kelapa memiliki kekuatan 281,03% lebih tinggi dibandingkan serat batang pisang.

Dalam perbandingan antara serat ijuk dan batang pisang, serat ijuk menunjukkan kekuatan yang lebih baik dengan nilai 104,59% lebih tinggi dari batang pisang. Hal ini berarti serat batang pisang hanya mampu mencapai 48,88% dari kekuatan serat ijuk. Menurut teori energy absorption mechanism. Serat sabut kelapa memiliki struktur sel yang lebih kompleks dengan rongga-rongga mikro (microcavities) yang mampu berperan sebagai energy absorber saat terjadi benturan [11]. Struktur berlapis (*multi-cellular structure*) pada serat sabut kelapa memungkinkan terjadinya deformasi plastis yang lebih besar sebelum kegagalan total, sehingga energi benturan dapat diserap secara lebih efektif [12].



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Impak

Grafik hasil pengujian Impak ditampilkan pada Gambar 6:

Table 4 adalah analisis ANOVA (Analysis of Variance) dari data kekuatan uji impak untuk ketiga jenis serat alam: serat sabut kelapa, batang pisang, dan ijuk, dengan perlakuan perendaman NaOH selama 2 jam pada fraksi volume 5%.

Tabel 4. ANOVA Pengujian Impak

Sumber Variasi (sourse)	SS	df	MS	F-VALUE
Antar Kelompok (Between Groups)	1970.28	2	985.14	348.33
Dalam Kelompok (Within Groups)	16.97	6	2,83	-
Total	1987.25	8	-	-

Berdasarkan tabel ANOVA, nilai F-hitung yang diperoleh adalah 348,33, yang merupakan hasil pembagian MS antar kelompok (985,14) dengan MS dalam kelompok (2,83). Nilai F-hitung ini jauh melebihi F-tabel pada $\alpha = 0,05$ (5,14) maupun $\alpha = 0,01$ (10,92), sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan secara statistik antara kekuatan impak ketiga jenis serat.

Dari hasil analisis data, serat sabut kelapa memberikan kekuatan impak tertinggi sebesar 48.12 kJ/m², menunjukkan bahwa komposit dengan serat kelapa paling efektif dalam menyerap energi benturan. Serat ijuk memiliki nilai impak sedang namun sangat stabil, dengan hasil yang sama pada setiap pengulangan pengujian. Sedangkan serat batang pisang memiliki kekuatan impak terendah dan menunjukkan ketidak konsistenan. Jenis serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan impak komposit pada kondisi treatment yang sama.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan bending sesuai standar ASTM D790 dan pengujian ketahanan impak, komposit serat sabut kelapa menunjukkan performa terbaik dengan nilai kekuatan

bending tertinggi sebesar 68,97 MPa dan ketahanan impak sebesar 48,12 kJ/m². Nilai-nilai tersebut jauh melebihi standar yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) untuk aplikasi kapal nelayan, yaitu tegangan lentur minimal 7,44 MPa dan energi absorpsi impak 24-300 J untuk material lambung kapal kecil. Dengan demikian, komposit serat sabut kelapa sangat berpotensi dan layak diaplikasikan sebagai material konstruksi lambung kapal nelayan karena memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menahan beban lentur dan menyerap energi benturan, sehingga dapat menjamin kekuatan dan keamanan struktur kapal dalam operasional di perairan.

Referensi

[1] R. Ramful, "Mechanical performance and durability attributes of biodegradable natural fibre-reinforced composites — a review," *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*, vol. 19, art. 50, 2024.

[2] O. El Hawary, L. Boccarusso, M. P. Ansell, M. Durante, and F. Pinto, "An Overview of Natural Fiber Composites for Marine Applications," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 11, no. 5, art. 1076, 2023.

[3] A. Islam, M. H. Chaion, and M. A. Jalil, "Advancements and challenges in natural fiber-reinforced hybrid composites: A comprehensive review," *SPE Polymers*, vol. 5, no. 4, pp. 481–506, 2024.

[4] S. Ahmad, M. Alam, and R. Singh, "The prospects of natural fiber composites: A brief review," *International Journal of Lightweight Materials and Manufacturing*, vol. 7, no. 4, pp. 496–506, 2024.

[5] S. Kumar, P. Singh, and M. A. Qureshi, "Advances of natural fiber composites in diverse engineering applications—A review," *Applied Engineering Science*, vol. 18, art. 100184, 2024.

[6] M. Durante, O. El Hawary, and L. Boccarusso, "Green Composites for Maritime Engineering: A Review," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 11, no. 3, art. 599, 2023.

[7] J. K. Mishra and V. Kumar, "Natural fiber reinforced composites: Sustainable materials for emerging applications," *Results in Engineering*, vol. 11, art. 100263, 2021.

[8] J. Scida, J. Assarar, R. Poilâne, and R. Ayad, "Long-term durability and ecotoxicity of biocomposites in marine environments: A review," *RSC Advances*, vol. 11, no. 45, pp. 28030–28054, 2021.

[9] A. Rahman, M. Hasan, and T. K. Das, "Study on water absorption characteristics, various chemical treatments, and applications of biological fiber-reinforced polymer matrix composites," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2023, art. 764129, 2023.

[10] S. Shanmugam, R. Aravindhan, and T. Subramanian, "A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials," *Results in Engineering*, vol. 19, art. 101271, 2023.

[11] D. K. Sharma, R. K. Gupta, and V. Mehra, "Nontraditional natural filler-based biocomposites for sustainable structures," *Advances in Polymer Technology*, vol. 2023, art. 663472, 2023.

[12] B. Chen, Y. Wu, and H. Wang, "Evaluation of mechanical properties of natural fiber based polymer composite," *BenchCouncil Transactions on Benchmarks, Standards and Evaluations*, vol. 4, no. 3, art. 100183, 2024.

[13] A. Islam and M. H. Chaion, "Advancements in natural fiber composites: Innovative chemical surface treatments, characterization techniques, environmental

sustainability, and wide-ranging applications," *Hybrid Advances*, vol. 7, art. 100282, 2024.

[14] S. N. Rani, K. Karthik, and P. Venkatesan, "Modification on fiber from alkali treatment and AESO coating to enhance UV-light and water absorption resistance in kapok fiber reinforced polyester composites," *Journal of Natural Fibers*, vol. 21, no. 5, pp. 11320–11339, 2024.

[15] L. Zhang, J. Li, and K. Wang, "Fracture structure of natural fiber surface after treatment with various alkali chemicals," *Journal of Fibers and Polymer Composites*, vol. 3, no. 2, pp. 158–180, 2024.

[16] T. Rahman, F. Alam, and R. Singh, "Chemical treatment effects on natural fiber composites: Alkali, acetylation, and silane," *Materials Today: Proceedings*, vol. 2024, pp. 1123–1135, 2024.

[17] R. Ramful, "Mechanical performance and durability attributes of biodegradable natural fibre-reinforced composites - a review," *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*, vol. 19, art. 50, 2024.

[18] B. Chen, Y. Wu, and H. Wang, "Evaluation of mechanical properties of natural fiber-based polymer composite," *BenchCouncil Transactions on Benchmarks, Standards and Evaluations*, vol. 4, no. 3, art. 100183, 2024.

[19] M. Durante, O. El Hawary, and L. Boccarusso, "Green Composites for Maritime Engineering: A Review," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 11, no. 3, art. 599, 2023.

[20] S. Kumar, P. Singh, and M. A. Qureshi, "Advances of natural fiber composites in diverse engineering applications—A review," *Applied Engineering Science*, vol. 18, art. 100184, 2024.

[21] J. Scida, J. Assarar, R. Poilâne, and R. Ayad, "Long-term durability and ecotoxicity of biocomposites in marine environments: A review," *RSC Advances*, vol. 11, no. 45, pp. 28030–28054, 2021.

[22] A. Islam, M. H. Chaion, and M. A. Jalil, "Advancements and challenges in natural fiber-reinforced hybrid composites: A comprehensive review," *SPE Polymers*, vol. 5, no. 4, pp. 481–506, 2024.

[23] O. El Hawary, L. Boccarusso, M. P. Ansell, M. Durante, and F. Pinto, "An Overview of Natural Fiber Composites for Marine Applications," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 11, no. 5, art. 1076, 2023.

[24] S. Ahmad, M. Alam, and R. Singh, "The prospects of natural fiber composites: A brief review," *International Journal of Lightweight Materials and Manufacturing*, vol. 7, no. 4, pp. 496–506, 2024.

[25] R. Ramful, "Mechanical performance and durability attributes of biodegradable natural fibre-reinforced composites — a review," *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*, vol. 19, art. 50, 2024.